

بررسی تأثیر کاربرد زئولیت کلینوپتی لولایت در کاهش آبشویی کود اوره از خاک

جهانگیر عابدی کوپایی^۱ سید فرهاد موسوی^۲ آرتمیس معتمدی^۳

(دریافت ۸۸/۲/۲۶ پذیرش ۸۹/۱/۱۵)

چکیده

آبشویی مواد مغذی کودی و سموم موجود در زهاب اراضی کشاورزی، از عوامل مهم تغییر کیفیت آبهای سطحی و زیرزمینی است. در تولید محصولات کشاورزی، قسمت اعظم نیتروژن مورد نیاز گیاهان از طریق کودها تأمین می‌شود. بررسی‌ها نشان داده است که درصدی از کودهای نیتروژنه از دسترس ریشه گیاهان خارج شده و به آبهای زیرزمینی یا رودخانه‌ها می‌پیوندد. استفاده از فناوری‌های نوین در مدیریت کشت، آبیاری، کوددهی و نیز تغییر در ساختار کودها و آفت‌کشها، می‌تواند نتایج مثبتی را در کاهش آبشویی نیتروژن داشته باشد. هدف از این تحقیق، بررسی تأثیر کاربرد زئولیت کلینوپتی لولایت بر کاهش آبشویی اوره از خاک بود. در این مطالعه گلخانه‌ای، چهار سطح زئولیت صفر، ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد اضافه شده به یک خاک لوم رسی سیلتی، یک سطح آبشویی ۲۵ درصد عمق خالص آبیاری، یک سطح کوددهی اوره با غلظت ۶۰ میلی‌گرم در لیتر و دو زئولیت میانه (مش ۵۰ و ۲۰۰) و زئولیت مشهد (مش ۲۰۰)، در چهار بار آبیاری در نظر گرفته شد. نتایج به‌دست آمده تأثیر مثبت کارایی زئولیت را در کاهش آبشویی اوره نشان داد. میزان غلظت نیتروژن خروجی تیمار بدون زئولیت (خاک معمولی) از ۱۳۳۷ میلی‌گرم در لیتر پس از آبیاری اول به ۳۱۶ میلی‌گرم در لیتر پس از آبیاری چهارم رسید. ولی در مورد کاربرد ۱۵ درصد زئولیت میانه با مش ۵۰، این اعداد به ترتیب ۴۲۷ و ۵۴ میلی‌گرم در لیتر بودند. مقایسه زئولیت‌های مش ۲۰۰ میانه و مشهد نشان داد که زئولیت مشهد در نگهداری کود اوره مؤثرتر است. زئولیت، علاوه بر کاهش ورود اوره به آبهای زیرزمینی، قادر است سرعت انتقال آلودگی را نیز کاهش دهد. دانه‌بندی زئولیت می‌تواند بر کاهش آبشویی مواد آلاینده تأثیر معنی‌داری داشته باشد به طوری که ذرات ریزتر قدرت بیشتری در جذب و نگهداری اوره دارند.

واژه‌های کلیدی: زئولیت، آبشویی، کود اوره، آلودگی آبهای زیرزمینی

Effect of Clinoptilolite Zeolite Application on Reducing Urea Leaching from Soil

Jahangir Abedi-Koupai¹

Sayed-Farhad Mousavi²

Artemis Motamedi³

(Received May 16, 2009 Accepted Apr. 4, 2010)

Abstract

Nutrients and insecticides in runoff or drainage water from the agricultural lands have of long posed a great challenge to surface and ground water quality. In agricultural production, fertilizers supply the main source of nitrogen required for plant growth. Investigations have shown that part of the nitrogen fertilizers are excluded from the root zone and leached into the groundwater or rivers. Modern technologies employed cultivation, irrigation, and fertigation management as well as changes in the structure of fertilizers and insecticides could have positive effects on reducing the leaching of nitrogen. The objective of this research was to study the effect of clinoptilolite zeolite application on reducing urea leaching from soil. In this greenhouse experiment, four levels of zeolite (0, 5, 10, and 15% added to a silty clay loam soil), one level of leaching (25% of net irrigation depth), one level of fertilizer application (60 mg/L), two sizes of Mianeh zeolite (50 and 200 mesh), and one size of Mashhad zeolite (200 mesh) were used in four irrigation events. The results showed positive effects of zeolite on reducing urea leaching. The nitrogen concentration in the 0% zeolite treatment was reduced from 1337 mg/L (after the first irrigation) to 16 mg/L (after the fourth irrigation event). But, for 15% Mianeh zeolite (50 mesh),

1. Assoc. Prof. of Water Eng., Dept. of Agriculture, Isfahan University of Tech., Isfahan

2. Prof. of Water Eng., Dept. of Agriculture, Isfahan University of Tech., Isfahan (Corresponding Author) (+98 311) 3913435 Mousavi@cc.iut.ac.ir

3. Ph.D. Student of Irrigation and Drainage, Dept. of Agriculture, Isfahan University of Tech., Isfahan

۱- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

۲- استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

(نویسنده مسئول) ۳۹۱۳۴۳۵ (+۳۱۱) Mousavi@cc.iut.ac.ir

۳- دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

these values were 427 and 54 mg/L. Comparison of zeolite types showed that Mashhad zeolite was more effective in adsorbing urea than Mianeh zeolite (both 200 mesh). Zeolite, in addition to reducing the urea potential for groundwater pollution, was able to decrease the rate of solute transport. It was found that zeolite size can have significant effects on the leaching of contaminants. Finer zeolite particles absorb and hold more urea.

Keywords: Zeolit, Leaching, Urea Fertilizer, Groundwater Contamination.

۱- مقدمه

به طور کلی به علت مزایای فراوان کود اوره، استفاده از آن برای کشاورزان اجتناب ناپذیر است. لذا لازم است برای حفظ آن در محیط ریشه و حفاظت محیط زیست تدبیری اندیشید.

یکی از روشهای به دام انداختن مواد آلاینده‌ای که به سمت آبهای زیرزمینی حرکت می‌کنند، استفاده از زئولیت است. زئولیت و کاربرد آن در کشاورزی، دامپروری، صنایع و تصفیه آب مبحثی نوین و رو به رشد است که با توجه به منابع غنی زئولیت در ایران، هزینه‌چندانی نخواهد داشت. زئولیت، یک کانی آلومینوسیلیکات آبدار با ساختاری چهاروجهی به صورت TO_4 است. کلینوپتی لولایت ساختمانی سه وجهی با خلل و فرجی به اندازه 10^{-9} متر دارد و آمونیوم را در مکان‌های داخلی‌اش جذب می‌کند. این تونل‌های داخلی آنقدر کوچک هستند که میکرب‌های به اندازه 10^{-6} متر نمی‌توانند داخل آنها شوند و در نتیجه آمونیوم برای نیتریفیکاسیون، از دسترس میکرب‌ها دور می‌ماند.

زئولیت به معنی سنگ جوشان، از دو واژه با ریشه یونایی "زین" به معنی جوشیدن و "لیتوس" به معنی سنگ، گرفته شده است. این نام مبتنی بر این واقعیت است که در هنگام حرارت دادن زئولیت، مقدار زیادی آب به صورت بخار خارج می‌شود. دیکسون^۱ و وید^۲ بیان کرده‌اند که تاکنون بیش از ۵۰ نوع زئولیت طبیعی و بیش از ۱۵۰ نوع زئولیت مصنوعی شناخته یا ساخته شده است [۵]. زئولیت‌ها وظایف زیادی مانند تبادل یون، فیلتراسیون، گندزدایی یا بوزدایی، تصفیه شیمیایی، تصفیه آب، جذب گاز، خوشرنگ کردن محصولات با خاصیت ضد فساد، فلورزدایی صنعتی، تثبیت فسفات، خنثی‌سازی زباله‌های اسیدی و پاک‌سازی فاضلاب‌ها دارند. زئولیت‌ها قادرند بیش از ۶۵ درصد وزن خود، آب جذب کنند و با این کار نقش مهمی در حفاظت خاک در مقابل فرسایش بادی ایفا می‌نمایند. همچنین به علت تجزیه نشدن در خاک، قادرند تا مدتهای زیادی نیاز گیاه به آب و سایر مواد مغذی را کاهش دهند.

زئولیت‌ها در صنایع نفت و پتروشیمی به عنوان کاتالیزور در جداسازی و تخلیص گازها به کمک پدیده غربال مولکولی و انرژی خورشیدی در صنایع شوینده به عنوان جایگزین فسفات‌ها و

تولید نیتروژن که عرضه آن به وسیله انسان قابل تنظیم است، برای گیاهان مهم و حیاتی است. نیتروژن عمدتاً به صورت نترات (NO_3^-) و در شرایط احیایی مقداری نیز به شکل آمونیوم (NH_4^+) جذب گیاه می‌شود. منبع عمده نیتروژن کودهایی است که به خاک داده می‌شود. یکی از پرکاربردترین این کودها، اوره با ۴۶ درصد نیتروژن است. این کود به شکل کریستال‌های جامد سفید رنگ است و از سایر کودها ارزان‌تر می‌باشد. از دیگر مزایای استفاده از کود اوره می‌توان به سبک بودن، مقاومت در برابر فساد، سهولت در مصرف به صورت اسپری و مایع و نیز قابلیت انحلال بالای آن اشاره کرد [۱].

در ایران سالانه بیش از ۱۶۰۰۰۰۰ تن اوره برای تأمین نیاز نیتروژن گیاهان در کشاورزی استفاده می‌شود [۲]. متأسفانه با توجه به بازده پایین این کود که باعث اتلاف بیش از ۵۰ درصد نیتروژن آن می‌شود، کشاورزان مجبورند برای تأمین نیاز گیاهان، مقادیر بیشتری از آن استفاده کنند. از دست دادن این مقدار کود نه تنها باعث اتلاف هزینه‌های بسیار زیادی می‌شود، بلکه آلودگی منابع آب زیرزمینی را نیز به دنبال دارد [۳].

زمانی که غلظت مواد محلول و معلق از حد مجاز تعیین شده تجاوز نماید و یا تغییراتی در دما و خواص فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک آب رخ دهد، آب دچار آلودگی خواهد شد. آلودگی آبهای سطحی به مراتب آسان‌تر و سریع‌تر از آبهای زیرزمینی است و اغلب تشخیص منشأ کیفی آنها چندان مشکل به نظر نمی‌رسد. اما تشخیص منبع آلودگی آبهای زیرزمینی ساده نیست و با توجه به اهمیت این منابع، پیشگیری از آلودگی آنها ضروری است. منبع اصلی آلودگی آبهای زیرزمینی، نیتروژن معدنی و آلی پسابهای صنعتی، کشاورزی و خانگی است. چاههای جاذب نیز باعث آلودگی شدید و سریع آبهای زیرزمینی می‌شوند [۴]. امروزه، فناوری نوین استفاده از کودهای اوره روکش‌دار به گوگرد، به مقدار زیادی در جلوگیری از آلودگی آبها، مؤثر بوده است [۲]. به‌کارگیری روشهای صحیح مدیریت مزرعه نیز در کاهش آبخوبی اوره نتایج مطلوبی داشته است. بهترین زمان مصرف اوره نزدیک به زمان حداکثر نیاز، مطابق با مراحل رشد گیاه است.

¹ Dixon

² Weed

همچنین در تصفیه و پاک‌سازی فاضلابهای شهری کاربرد پیدا کرده‌اند [۶].

مطالعات بسیار زیادی در زمینه اصلاح خاک در اثر کاربرد زئولیت صورت گرفته است. عابدی کویایی و اسدکاظمی در سال ۲۰۰۶ تحقیقی در مورد تأثیر کاربرد زئولیت بر هدایت هیدرولیکی غیر اشباع و نگهداشت آب در خاک در بافتهای مختلف انجام دادند و نتایج مثبتی گرفتند [۷]. سپاسخواه و یوسفی در سال ۲۰۰۷ با مطالعه و بررسی نسبت‌های متفاوتی از زئولیت پتاسیم-کلسیمی (صفر، ۲، ۴، ۸ گرم در کیلوگرم خاک)، به تأثیر مثبت آن بر سرعت آب در منافذ خاک و مقدار آبشویی آمونیوم و نیترات که به صورت کود آمونیوم نیترات (۳۵۰ کیلوگرم در هکتار) به خاک لوم داده شده بود، در شرایط اشباع خاک شبیه به شرایط شالیزار، پی بردند [۸]. نتایج نشان داد که در نسبت‌های ۴ و ۸ گرم زئولیت، مقدار سرعت آب در خاک ۳۵ و ۷۴ درصد افزایش پیدا کرده است. آنها بیان کردند که به‌خاطر قابلیت بالای تبادل یونی زئولیت، استفاده از آن به مقدار ۲ گرم در کیلوگرم خاک کافی است تا جلوی آبشویی آمونیوم را بگیرد.

کاوسی و رحیمی، تحقیقاتی را در مورد تأثیر کاربرد زئولیت بر عملکرد برنج با دو خاک متفاوت سبک و سنگین انجام دادند. نتایج حاصل از دو مزرعه شالیزاری در بندر انزلی و رشت نشان داد که عملکرد برنج در مزرعه با خاک سبک، نتایج معنی‌داری پس از کاربرد زئولیت داشت [۹].

ناظم و همکاران با بررسی اثر کاربرد ۵ درصد و ۱۰ درصد زئولیت بر کیفیت زهاب خروجی از ستون خاک در شرایط استفاده از شیرابه کارخانه کود آلی اصفهان، به این نتیجه رسیدند که زئولیت همراه خاک، سبب شده املاح بیشتری جذب شود [۱۰]. سلیمانی و همکاران در سال ۱۳۸۷ از زئولیت‌های طبیعی و اصلاح شده سمنان و فیروزکوه به‌منظور حذف یون‌های نیترات و آمونیوم از محلول‌های آزمایشگاهی و آبهای زیرزمینی استفاده کردند. نتایج نشان داد که بیشترین و کمترین جذب آمونیوم به‌ترتیب مربوط به تیمار زئولیت طبیعی سمنان و تیمار زئولیت اصلاح شده فیروزکوه بوده است [۱۱].

فرگوسن^۱ و پپر^۲، با اضافه کردن زئولیت به خاک شنی تحقیقاتی را در مورد کیفیت رشد چمن انجام دادند. در این تحقیق مشخص شد که زئولیت علاوه بر کاهش آبشویی نیترات و آمونیوم و افزایش بازده مصرف نیتروژن، قابلیت نگهداری آب را در خاک افزایش می‌دهد و محیط مناسبی را برای جوانه‌زنی و استقرار گیاه آماده می‌سازد [۱۲].

باتاچاریا و همکاران^۳ بیان کردند که حضور زئولیت به‌عنوان اصلاح‌کننده خاک این قابلیت را دارد که آب خاک را جذب کند و آب خود را پس دهد و مقداری از کاتیون‌های موجود در خود را مبادله کند [۱۳]. قابل ذکر است که زئولیت دارای مواد اولیه‌ای مانند پتاسیم، کلسیم، سدیم، آلومینیم، منیزیم، سیلیسیم، فسفر، گوگرد، مس، آهن، و منگنز است که خود به تنهایی به‌عنوان کود کشاورزی محسوب شده و در تولید محصولات کشاورزی نقش مهمی دارد.

ژیوبین^۴ و ژانبن^۵ کاربرد زئولیت در بالا بردن نفوذ و نگهداری آب در خاک را بررسی کردند. زئولیت مورد استفاده از نوع موردنیات بود. زئولیت به‌صورت پودر بسیار ریز به خاک آهکی مورد آزمایش اضافه شد و در مقایسه با خاک بدون زئولیت مورد ارزیابی قرار گرفت. خاک حاوی زئولیت مقدار نفوذ را در شیب‌های ملایم، ۳ تا ۷ درصد و در شیب‌های تند، تا ۵۰ درصد افزایش داد که این امر باعث کاهش روانابهای سطحی می‌شود [۱۴].

در مطالعه‌ای به‌منظور بررسی تأثیر زئولیت بر میزان آبشویی اوره، کیفیت زهاب خروجی پس از آبیاری با کود اوره، آزمایش شد. طی این پژوهش، کود اوره با ذرات زئولیت مخلوط و تا ۴۰۰ درجه سلسیوس حرارت داده شد. فضای متخلخل زئولیت با اوره مذاب جایگزین شده و از دو راه باعث کم کردن آبشویی اوره گردید: ۱- گرفتار شدن اوره در منافذ کریستاله زئولیت و ۲- تأخیر تبدیل اوره به یون آمونیوم [۱۵].

مطالعات پرز و همکاران^۶ در سال ۲۰۰۸ روی گیاه زیتون، تأثیر مثبت زئولیت را در کاهش آبشویی نیترات، افزایش قدرت نگهداری آب در خاک، راندمان بالای مصرف آب و کاهش نیاز به کوددهی در پی داشت. این مطالعات در اسپانیا و در کرت‌های ۱۲×۱۲ متری و با افزایش زئولیت حاوی کلسیت منزیم در سطوح مختلف صفر، ۰/۵، ۱، ۲، ۳ و ۴ کیلوگرم در متر مربع صورت گرفت. افزایش مصرف زئولیت اثر قابل توجهی بر وزن زیتون و میزان روغن آن داشت [۱۶]. از دیگر مطالعات جامع اخیر می‌توان تحقیقات دوزیر و همکاران^۷ در تگزاس را نام برد [۱۷]. مطالعات آنان در مورد نقش مؤثر زئولیت بر بهترین اقدامات مدیریتی بوده است و برای کاهش آبشویی نیترات و بررسی کاهش آلودگی آرسنیک و آترازین در آبهای زیرزمینی دنبال شده است.

³ Bhattacharyya et al.

⁴ Xiubin

⁵ Zhanbin

⁶ Perez et al.

⁷ Dozier et al.

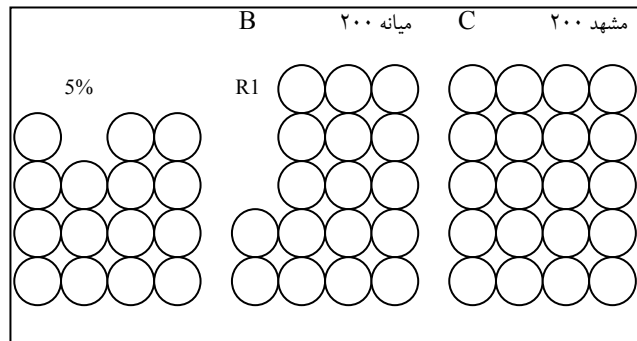
¹ Ferguson

² Pepper

در ایران، مطالعات چندانی در رابطه با برهمکنش زئولیت و اوره صورت نگرفته است. لذا، هدف از این تحقیق، بررسی تأثیر کاربرد مقدار، اندازه و نوع ذرات زئولیت کلینوپتی لولایت بر کاهش آبشویی اوره از خاک بود.

۲- مواد و روشها

در این مطالعه، چهار سطح زئولیت صفر، ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد، یک سطح آبشویی ۲۵ درصد عمق خالص آبیاری و نیز یک سطح کوددهی اوره با غلظت ۶۰ میلی‌گرم در لیتر در چهار بار آبیاری در نظر گرفته شد. در شکل ۱ تصویری از شماتیکی از پایلوت مورد استفاده، ارائه شده است.



شکل ۱- شمایی از پایلوت آزمایش

به منظور بررسی تأثیر اندازه زئولیت از دو مش ۵۰ و ۲۰۰ زئولیت میانہ (پایلوت A و B) و برای مقایسه نوع زئولیت، از زئولیت مشهد با مش ۲۰۰ (پایلوت B و C) استفاده شد (شکل ۱). در هر پایلوت، آزمایش‌های مربوط به تأثیر میزان زئولیت افزوده شده به خاک در پنج تکرار (R1-R5) و در شرایط یکسان مورد بررسی قرار گرفت.

تعداد شصت عدد گلدان پلاستیکی با قطر تقریبی ۲۵ و ارتفاع ۴۰ سانتی‌متر که قابلیت جذب آب را نداشتند، تهیه گردید. در هر یک از گلدان‌ها، سوراخی برای خروج زهاب تعبیه شد و لوله‌ای به طول ۱۰ تا ۱۵ سانتی‌متر برای انتقال زهاب از گلدان‌ها به ظروف جمع‌آوری در نظر گرفته شد. برای جلوگیری از تبخیر در حین خروج زهاب، سعی گردید با ایجاد سوراخی در روی درب ظروف جمع‌آوری زهاب، تنها راه انتقال فقط از طریق لوله اتصال باشد. قرار دادن توری سیمی و پلاستیکی در کف گلدان‌ها از مسدود شدن خروجی جمع‌آوری زهاب جلوگیری می‌کرد.

خاک انتخابی در این پروژه دارای بافت متوسط لوم رسی شنی بود و از منطقه چاه اناری دانشگاه صنعتی اصفهان تهیه گردید. انتخاب بافت خاک، بنا به قابلیت دسترسی به مزارع دانشگاه صنعتی بود. در جدول ۱ خصوصیات خاک انتخاب شده، بیان شده است

[۱۸]. در این پژوهش، با فرض کاشت گندم در گلدان‌ها، از کود اوره به میزان مورد نیاز رشد این گیاه استفاده گردید. گرچه نحوه کاربرد کود اوره به صورت سرک است ولی هدف پژوهش حاضر آبشویی اوره بود. لذا در هر میزان آب آبیاری لازم، اوره با غلظت مشخص حل گردید.

به منظور تعیین زمان آبیاری بدون اعمال تنش آبی، قبل از اینکه وزن اولین گلدان به وزن بحرانی برسد کلیه تیمارها آبیاری شدند:

$$M_e = MAD \times M_{FCi} + (1 - MAD) \times M_{WPI} \quad (1)$$

که در این رابطه

M_e وزن بحرانی بر حسب کیلوگرم، MAD میزان تخلیه مجاز رطوبتی گیاه گندم که برابر ۰/۵ است، M_{WPI} وزن گلدان i ام در نقطه پژمردگی بر حسب کیلوگرم و M_{FCi} وزن گلدان i ام در نقطه گنجایش زراعی بر حسب کیلوگرم است.

برای تعیین آب مورد نیاز، وزن گلدان‌ها در حالت اشباع و در ظرفیت زراعی تعیین گردید. لذا تمامی گلدان‌ها توسط محلول اوره در آب، اشباع شدند و در این حالت توزین گردیدند. در زمان هر آبیاری، ابتدا هر گلدان وزن شد و با توجه به اختلاف وزن آن با وزن در گنجایش زراعی و میزان آبشویی در نظر گرفته شده (۲۵ درصد)، میزان آب لازم برای هر گلدان با توجه به رابطه زیر به دست آمد:

$$W_i = \frac{M_{FCi} - M_i}{1 - LR} \quad (2)$$

که در این رابطه

W_i میزان آب مورد نیاز برای گلدان i ام بر حسب کیلوگرم، M_{FCi} وزن گلدان i ام در ظرفیت زراعی بر حسب کیلوگرم، M_i وزن گلدان i ام قبل از آبیاری (شاهد) و LR میزان آبشویی (۰/۲۵) است. لازم به ذکر است که به علت استفاده از روش وزنی برای هر آبیاری، دوره‌های آبیاری الزاماً با یکدیگر برابر نبود.

نگهداری اوره در زهاب خروجی باید در محیط ۴ تا ۵ درجه سلسیوس باشد. در این پژوهش نیز با نگهداری زهاب‌ها در محیط یخچال، زمان حداکثر یک هفته‌ای برای جمع‌آوری و انتقال آنها به آزمایشگاه در نظر گرفته شد.

به منظور تعیین پارامترهای تأثیرگذار بر کاهش آبشویی، از نرم‌افزار SAS استفاده شد و مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن^۱ در سطح اطمینان ۹۵ درصد انجام گردید.

¹ Duncan

جدول ۱- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده

SAR	pH	Na ⁺ (meq/L)	K ⁺ (meq/L)	Ca ⁺² (meq/L)	Mg ⁺² (meq/L)	Cl ⁻ (meq/L)	HCO ₃ ⁻ (meq/L)	SO ₄ ⁻² (meq/L)	EC (dS/m)	CEC (meq/100g)	درصد اشباع	سیلت (%)	رس (%)	شن (%)
۰/۱	۷/۶	۰/۲	۰/۵	۵/۴	۲/۸	۲/۱	۵/۹	۰/۲	۰/۸۵	۲۶/۳	۲۸	۱۵/۸	۲۶/۴	۵۷/۸

جدول ۲- تجزیه واریانس تأثیر فاکتورهای مختلف بر آب‌شویی اوره

میانگین مربعات	درجه آزادی	تیمار
۴۶۸۷/۵*	۱	نوع زئولیت
۱۳۲۳۰*	۱	مش بندی
۳۲۰۵۵۸۵/۹۴*	۳	سطح زئولیت
۷۶۹۶۳۰۷/۰۵*	۳	آبیاری
۰/۰ ^{ns}	۰	زئولیت × مش بندی
۲۶۷۹/۵۸*	۳	نوع زئولیت × سطح زئولیت
۱۰۳۴/۷۲*	۳	نوع زئولیت × آبیاری
۲۷۶۴/۵۸*	۳	مش بندی × سطح زئولیت
۳۳۶۸/۰۶*	۳	مش بندی × آبیاری
۳۷۸۵۱۲/۷۰*	۹	سطح زئولیت × آبیاری
۰/۰ ^{ns}	۰	نوع زئولیت × مش بندی × سطح زئولیت
۰/۰ ^{ns}	۰	نوع زئولیت × مش بندی × آبیاری
۲۳۸۰/۸۸*	۹	نوع زئولیت × سطح زئولیت × آبیاری
۱۲۳۲/۸۲*	۹	مش بندی × سطح زئولیت × آبیاری
۰/۰ ^{ns}	۰	نوع زئولیت × مش بندی × سطح زئولیت × آبیاری

* در سطح ضریب اطمینان ۹۵ درصد معنی دار می باشد. ns بدون تفاوت معنی دار

۳- نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس تیمارها و تأثیر فاکتورها بر آب‌شویی اوره در جدول ۲ ارائه شده است. نتایج این جدول نشان می‌دهد که هر یک از پارامترها به‌طور جداگانه تأثیر معنی‌داری بر کاهش غلظت آب‌شویی اوره دارند. نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌ها در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳- مقایسه میانگین فاکتورهای مختلف بر آب‌شویی اوره

تیمار	تعداد	میانگین
زئولیت میانه	۱۶۰	۴۵۳/۹۴a
زئولیت مشهد	۸۰	۴۴۴/۵۶b
مش ۵۰	۸۰	۴۶۱/۳۱ a
مش ۲۰۰	۱۶۰	۴۴۵/۵۶ b
سطح مصرف ۰٪	۶۰	۷۴۷/۰۸ a
سطح مصرف ۵٪	۶۰	۴۹۱/۵۸ b
سطح مصرف ۱۰٪	۶۰	۳۶۶/۰۸ c
سطح مصرف ۱۵٪	۶۰	۱۹۸/۵۰ d
آبیاری اول	۶۰	۹۵۳/۵۰ a
آبیاری دوم	۶۰	۴۵۳/۰۸ b
آبیاری سوم	۶۰	۲۴۶/۴۱ c
آبیاری چهارم	۶۰	۱۵۰/۲۵ d

حروف متفاوت مبین وجود تفاوت معنی‌دار در سطح ضریب اطمینان ۹۵ درصد بین تیمارهاست.

تأثیر زئولیت میانه با مش ۵۰ بر آب‌شویی اوره در آبیاری‌های متوالی در جدول ۴ ارائه شده است. بر اساس این جدول، با آبیاری‌های متوالی در فواصل زمانی مورد نیاز گیاه، تأثیر مثبت زئولیت بر آب‌شویی به‌صورت آشکاری نمایان می‌شود. در تیمار شاهد و بدون کاربرد زئولیت، غلظت نیتروژن خروجی از خاک در آبیاری اول، ۱۳۳۷ میلی‌گرم در لیتر و پس از آبیاری چهارم، ۳۱۶ میلی‌گرم در لیتر بود. در حالی که این مقادیر با افزودن ۱۵ درصد زئولیت به خاک، به ترتیب به ۴۲۷ و ۵۴ میلی‌گرم در لیتر رسیدند.

با افزایش زئولیت به خاک، در هر نوبت آبیاری مقدار زیادی از کود اوره در خاک نگهداری می‌شود و از آب‌شویی آن جلوگیری می‌گردد. به‌منظور بررسی تأثیر زئولیت در آبیاری‌های متوالی، درصد کاهش آب‌شویی اوره به ازای افزایش درصدهای مختلف

جدول ۴- مقدار نیتروژن کل موجود در زهاب خروجی (mg/L) در آبیاری‌های متوالی به ازای درصدهای متفاوت زئولیت میانه (با مش ۵۰)

مقدار زئولیت افزوده شده به خاک			نوبت آبیاری
٪۱۵	٪۱۰	٪۵	
۴۲۷	۸۶۷	۱۳۳۷	اول
۲۲۸	۴۱۶	۸۷۶	دوم
۱۱۶	۲۵۲	۴۵۵	سوم
۵۴	۱۴۲	۳۱۶	چهارم

زئولیت در آبیاری‌های چهارگانه در جدول ۵ ارائه شده است. با مقایسه اعداد جدول ۵ می‌توان مفید بودن وجود زئولیت را در کاهش آبشویی اوره در آبیاری‌های اول تا چهارم نتیجه گرفت. با افزودن تنها ۵ درصد زئولیت به خاک پس از آبیاری‌های متعدد، آبشویی کود اوره به میزان ۱۰ تا ۵۵ درصد کاهش یافت. بیشترین تأثیر کاهش آبشویی اوره ۸۰ درصد بود که ناشی از افزودن ۱۵ درصد زئولیت در آبیاری چهارم بود. این مسئله می‌تواند در مقیاسهای مزرعه‌ای و بزرگ، نقش اقتصادی با ارزشی را ایفا نماید.

جدول ۵- کاهش اوره آبشویی شده (برحسب درصد) در اثر کاربرد زئولیت میانه (با مش ۵۰)

مقدار زئولیت افزوده شده به خاک			
نوبت آبیاری	%۵	%۱۰	%۱۵
اول	۱۰	۳۰	۷۰
دوم	۵۰	۶۵	۷۰
سوم	۴۵	۶۰	۷۵
چهارم	۵۵	۶۵	۸۰

داده شد که نوع زئولیت در کاهش آبشویی اوره تأثیری ندارد. از نظر دانه‌بندی، ذرات ریزتر زئولیت (مش ۲۰۰) قدرت بیشتری در جذب و نگهداری اوره نسبت به ذرات درشت‌تر (مش ۵۰) دارند. با افزایش مصرف زئولیت، میزان نیتروژن خروجی از گلدان‌ها کم شده و در نتیجه آلودگی آبهای زیرزمینی به اوره یا نترات کمتر خواهد شد.

جدول ۶- مقدار نیتروژن کل موجود در زهاب خروجی (mg/L) در آبیاری‌های متوالی به ازای درصدهای متفاوت زئولیت میانه (با مش ۲۰۰)

مقدار زئولیت افزوده شده به خاک			
نوبت آبیاری	صفر	%۵	%۱۰
اول	۱۳۴۰	۱۱۵۰	۸۸۲
دوم	۸۷۷	۴۰۳	۳۰۲
سوم	۴۵۷	۲۳۴	۱۷۶
چهارم	۳۱۴	۱۳۴	۹۸

جدول ۷- مقدار نیتروژن کل موجود در زهاب خروجی (mg/L) در آبیاری‌های متوالی به ازای درصدهای متفاوت زئولیت مشاهد (با مش ۲۰۰)

مقدار زئولیت افزوده شده به خاک			
نوبت آبیاری	صفر	%۵	%۱۰
اول	۱۳۴۲	۱۱۹۸	۸۱۲
دوم	۸۷۵	۳۹۸	۳۰۶
سوم	۴۵۸	۲۳۰	۱۷۳
چهارم	۳۱۸	۱۳۱	۹۳

نتایج کاربرد زئولیت‌های میانه و مشاهد با مش ۲۰۰ در مورد میزان نیتروژن موجود در زهاب و آبشویی کود اوره به ترتیب در جدولهای ۶ و ۷ آورده شده است. این کار به منظور مقایسه نوع زئولیت بر نگهداشت اوره انجام شد. در هر مورد، حروف متفاوت در هر ستون حاکی از تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد بین پارامترها است. در جدولهای مذکور نیز بالا بودن تأثیر زئولیت در کاهش آبشویی ملموس است. با مقایسه جدولهای ۴ و ۶ مشاهده می‌شود که در مجموع، افزایش زئولیت میانه با اندازه ۲۰۰ مش مؤثرتر از اندازه ۵۰ مش است. به عبارت دیگر، ذرات ریزتر عملکرد بهتری را نشان می‌دهند که می‌تواند ناشی از افزایش سطح ویژه ذرات و جذب بیشتر مواد مغذی در خاک باشد. مقایسه نتایج جدولهای ۶ و ۷ نشان می‌دهد که افزودن زئولیت مشاهد با اندازه مش ۲۰۰، تفاوت چندانی با زئولیت میانه با همان اندازه مش نداشت. بنابراین نوع زئولیت کاربردی، تأثیری بر جذب و نگهداری کود اوره ندارد.

۴- نتیجه‌گیری

در آزمایش گلخانه‌ای صورت گرفته در این تحقیق که کود اوره به همراه چند سطح، دو اندازه و دو نوع زئولیت به کار رفت، نشان

۵- پیشنهاد

پیشنهاد می‌گردد به منظور پی بردن به خواص زئولیت و تأثیر مش‌بندی، این آزمایش‌ها در مقیاس مزرعه و به روش لایسیمیتری دنبال گردد. متأسفانه در ایران مطالعات چندانی در این باره روی این ماده صورت نگرفته است. چنانچه قرار باشد در مقیاس وسیعی از زئولیت استفاده گردد و کشاورزان با کمک فنون جدید به کاهش آلودگی آبهای زیرزمینی از طریق کم کردن کوددهی به مزارع ترغیب شوند، دانستن این مسئله که چه زئولیتی و در چه مش‌بندی، تأثیر بهتری دارد و همچنین از نظر اقتصادی مقرون به صرفه‌تر است، بحثی بسیار ضروری به‌شمار می‌رود.

۶- مراجع

- 1- Gilbert, P. M., Harrison, J., Heil, C., and Seitzinger, S. (2006). "Escalating worldwide use of urea – a global change contributing to coastal eutrophication." *Biogeochemistry*, 77, 441-463.

- 2- Akhlaghi, K. (2005). "Production process of sulfur-coated urea fertilizer and determination of its release model coefficients." *10th Iranian Congress of Chemical Engineering*, University of Sistan and Bluchestan, Zahedan. (In Persian)
- 3- Akhlaghi, K. (2006). "Sulfur-coated urea." < <http://alonefarmer.blogfa.com/post-1786.aspx>> (last updated Dec. 2009).
- 4- Riahi, K., Payami, F., Rad-Goudarzi, M., and Saberi, Sh. (2003). "Chemical and biological investigation of groundwater resources around atomic energy in south-east of Isfahan." *J. of Water and Wastewater*, 45, 46-50. (In Persian)
- 5- Dixon, J. B., and Weed, S. B. (1989). "Minerals in soil environments." *Soil Sci. Soc. Am.*, (Book Reviews) 150 (2), 562
- 6- Tabatabaei, S. H., Tavassoli, M., and Liaghat, A. M. (2002). "Evaluation of physical characteristics for heavy metal removal in wastewaters." *J. of Water and Wastewater*, 42, 68-70. (In Persian)
- 7- Abedi-Koupai, J., and Asadkazemi, J. (2006). "Effect of a hydrophilic polymer on the field performance of an ornamental plant (*Cupressus Arizonica*) under reduced irrigation regimes." *J. of Iranian Polimer*, 15(9), 715-725.
- 8- Sepaskhah, A. R., and Yousefi, F. (2007). "Effects of zeolite application on nitrate and ammonium retention of a loamy soil under saturated conditions." *Aust. J. Soil Res.*, 45(5), 368-373.
- 9- Kavousi, M., and Rahimi, M. (2000). *Investigating the effect of zeolite application on rice yield in two light and heavy-textured soils*, Rice Research Istitute, Rasht. (In Persian)
- 10- Nazem, Z., Najafi, P., Haj-Rasooliha, Sh., and Tabatabaei, S. H. (2008). "Evaluating the effects of using Iran's natural clinoptilolite zeolite in landfills on reducing the amount of dissolved salt in the leachate of Isfahan organic fertilizer factory." *J. of Iranian Water Research*, 1(1), 43-53. (In Persian)
- 11- Soleimani, M., Ansarie, A., Haj-Abbasi, M., and Abedi, J. (2008). "Investigation of nitrate and ammonium removal from groundwater by mineral filters." *J. of Water and Wastewater*, 67, 18-26. (In Persian)
- 12- Ferguson, G. A., and Pepper, I. L. (1987). "Ammonium retention in sand amended with clinoptilolite." *J. of Soil Sci. Soc. Am.*, 51, 231-234.
- 13- Bhattacharyya, T., Pal, D. K., and Deshpande, S. B. (1993). "Genesis and transformation of minerals in the formation of red (Alfisols) and black (Inceptisols and Vertisols) soils on deccan basalt in the western Ghats, India." *J. Soil Sci.*, 44, 159-171.
- 14- Xiubin, H., and Zhanbin, H. (2001). "Zeolite application for enhancing water infiltration and retention in loess soil." *Resour. Conser. Recyc.*, 34, 45-52.
- 15- Eberl, D. D. (2002). "Controlled-release fertilizers using zeolites." *U.S. Geological Survey, Technology transfer*, Available at <<http://internal.usgs.gov/tech-transfer/factsheets/94-066b.html>>.
- 16- Perez, R., Caballero, J., Gil, C., Benitez, J., and Gonazalez, L. (2008). "The effect of adding zeolite to soils in order to improve the N-K nutrition of olive trees: Preliminary results." *Am. J. Agricultural and Biological Sci.*, 2(1), 321-324.
- 17- Dozier, M. C., Morgan, G., and Sij, J. (2008). "BMPs to reduce nitrate impacts in groundwater and to Assess atrazine and arsenic occurrences in private water wells." *Texas State Soil and Water Conservation Board*, USA.
- 18- Abedi, J., and Mehdizadeh, H. (2008). "Estimation of osmotic suction from electrical conductivity and water content measuring in unsaturated soils." *J. of Geotechnical Testing*, 31(2), 142-148.